价值导向的注意刷新及其机制

李海峰，林世卿，万博温

（福建师范大学心理学院，福建 福州 350117）

摘　要　人们能够优先处理工作记忆中更有价值的信息，可能是因为人们在工作记忆维持阶段优先刷新了这些信息。那么，人们是如何优先刷新这些信息的呢？本文通过价值导向的记忆范式操纵信息的价值，结合点探测任务（实验 1 和实验 2）和空白屏范式（实验 3）考察了价值导向的注意刷新及其机制。结果表明：（1）高价值项目的记忆成绩优于低价值项目；（2）不论项目是同时还是继时呈现，相比低价值项目，高价值项目对应位置的点探测反应时显著更快；（3）相比低价值项目，被试在高价值项目对应位置的注视频率显著更高。上述结果表明，价值能够引导注意刷新；价值导向的注意刷新可能是通过增加高价值信息的刷新频率来实现的。

关键词　注意刷新，价值导向，工作记忆，刷新频率，注视时间

1 引言

信息的遗忘和维持是工作记忆研究的一个焦点。多数理论认为，工作记忆中的信息会随着时间的推移或受分心刺激的干扰而衰退（Barrouillet & Camos, 2012; Ricker et al., 2020），而有一种依赖于注意的维持机制能够抵制记忆的遗忘，这一机制被称为注意刷新（attentional refreshing）（Barrouillet & Camos, 2007）。注意刷新有别于更新（update）。更新是工作记忆中中央执行系统的一种功能，它能在记忆过程中将旧的信息替换成新的信息（Kaur et al., 2020）。而注意刷新是指将信息提取到注意的焦点从而促进、延长和加强这些信息的激活的过程（Camos et al., 2018）。

以往关于注意刷新的研究发现，人们不仅可以通过回溯线索的引导刷新工作记忆中指定的信息（Jafarpour et al., 2017; Lemair et al., 2018; van Moorselaar et al., 2015），而且会受经验（如奖赏和自我相关的刺激）的影响自发地进行注意刷新（Thomas et al., 2016; Yin et al., 2019; Vergauwe et al., 2014）。前者的注意刷新过程是被动的、有意识的，后者是自发的、无意识的。最近关于工作记忆的价值效应的研究发现，人们会优先处理工作记忆中更有价值的信息

收稿日期：2022-09-23　通讯作者：李海峰，lihaifengqiqi@163.com

（e.g., Allen et al., 2020; Atkinson et al., 2019; Hitch et al., 2018; Hu et al., 2016）。这种效应可能意味着还存在一种自发的、有意识的注意刷新过程，即价值导向的注意刷新。

在最新的一项研究中，Atkinson 等（2022）使用一个探测价值范式（probe-value paradigm）探究了工作记忆中的探测价值效应是否是由注意刷新导致的。在他们的实验中，被试需要记忆 4 个有价值联系的颜色。在最后的记忆测试中，被试需要在色轮上标注出其中的一个颜色。在某些试次下，颜色的价值有高、低之分，其中一个项目的价值为 4，其它三个项目的价值为 1；在某些试次下，所有颜色的价值都是相同的，皆为 1。在记忆维持阶段，插入了一个引导刷新程序来让被试“思考（think of）”线索指向的颜色。在线索条件下，有 2 个线索会引导被试思考其中的 2 个颜色，并且会在记忆测试中测试其中的一个颜色；在非线索（uncued）条件下，同样有 2 个线索会引导被试思考其中的 2 个颜色，但在记忆测试中会测试没有被线索引导的那 2 个颜色之一；在无线索（none-cue）条件下，没有任何线索出现，且记忆测试中会随机测试 4 个颜色中的一个。结果发现，高价值项目的回忆成绩显著好于低价值和相同价值项目的回忆成绩；线索能够提升低价值和相同价值项目的回忆成绩，即低价值和相同价值项目在线索条件下比无线索条件下的回忆成绩更好，但线索效应在高价值项目上消失了，即高价值项目在线索条件和无线索条件的回忆成绩无显著差别。这一结果说明，尽管在无线索条件下没有线索引导被试刷新高价值项目，但被试可能仍然主动地优先刷新了高价值项目，从而使得线索效应在高价值项目上失效了。

然而，上述结果只是间接地证明了被试可能在记忆维持阶段优先刷新了高价值项目。这是因为，回忆成绩不仅受记忆维持阶段的注意刷新影响，而且受记忆编码的影响。由于项目是高价值的，被试可能在编码阶段对高价值项目采取了更精细化的编码策略，或在高价值项目上花费了更多的时间（Castel et al., 2002; Cohen et al., 2017; Hennessee et al., 2019），从而加强了高价值项目的记忆痕迹。因而，在无线索条件下高价值项目有较好的回忆成绩并不是完全由注意优先刷新了高价值项目导致的。Atkinson 等（2022）也承认，注意刷新部分地解释了工作记忆中的探测价值效应。

此外，尽管间接证明了工作记忆的价值效应可以部分地被注意刷新所解释，但 Atkinson 等（2022）的研究仍然无法回答高价值信息的注意刷新优势是如何获得的。根据基于时间的资源分享（time-based resource-sharing, TBRS）模型，记忆痕迹会随着时间的延长而衰退，而通过注意来进行刷新可以恢复这些衰退的记忆痕迹（Barrouillet & Camos, 2007）。该模型假定，人们通过将注意集中于先前的记忆项来重新激活记忆痕迹，并且注意中心每次只能集中于单个项目上。因此，注意刷新是通过在任务完成期间快速、频繁地在处理和维持之间切

换来实现的。更进一步地，研究者认为，工作记忆的价值效应可能是由一种称之为有偏向的注意刷新程序（biased attentional refreshing procedure）导致的，即在工作记忆的维持阶段，人们可能会更频繁地或更长时间地去处理更有价值的项目（Atkinson et al., 2018, 2021; Hitch et al., 2018; Hu et al., 2016; Sandry et al., 2014）。然而，目前并没有这方面的证据。

最近有研究使用的点探测任务和空白屏范式允许实验者以更直观的形式测量价值导向的注意刷新及其机制。刷新过程中的注意偏向可以通过在记忆维持过程中插入一个点探测任务来反映（Yin et al., 2019）。其依据是，当注意指向储存在工作记忆中的某个位置时会提升对该位置上呈现的外部刺激的处理（processing）（Awh et al., 1998）。因此，被试在维持阶段插入的点探测的反应时长短可以反映被试对该位置对应信息的注意刷新优势。反应时越短意味着注意刷新优势越大。如果高价值信息相比低价值信息有注意刷新的优势，则高价值信息相应位置的点探测反应时将显著快于低价值信息相应位置的点探测反应时。

空白屏范式利用眼动数据来描述个体的内部注意过程（Káldi & Babarczy, 2021）。该范式常用的做法是，在视觉刺激呈现后显示一个空白屏幕，在此期间记录被试的眼动轨迹。该范式背后的基本原理是，被试在记忆的编码阶段构建了视觉场景的心理表征，该表征中与任务相关的项目可以在缺乏视觉场景的情况下仍然得到关注。于是，焦点注意能够反映在注视的位置上：被试注视屏幕上先前已经被任务相关项目所标记的位置区域（Hoover & Richardson, 2008; Spivey & Geng, 2001; Theeuwes et al., 2009）。以往研究表明，当刺激消失后，关注项目所在的区域能够提升该项目的工作记忆绩效（Kuo et al., 2012; Martarelli et al., 2007; Vankov, 2009）。在空白屏上测得的眼动与注意转移到相关的记忆项目有关（Scholz et al., 2016）。因此，注意刷新会使个体的注意指向项目所在的位置区域，从而引发眼球在空白屏幕中向对应的空间位置移动。如果高价值信息相比低价值信息有注意刷新的优势，则相比低价值信息，高价值信息相应位置的眼动指标（如注视次数，注视时间等）将具有一定的优势。

本文拟通过三个实验以更加直接的方式来重复验证价值导向的注意刷新并探究其机制。实验 1 和实验 2 将结合价值导向的记忆范式和点探测任务来验证高价值信息是否能够在注意刷新中获得优势。被试首先需要同时或继时记忆 6 个字母。每个字母对应一个数字表示其价值的高低。在记忆的维持阶段，插入一个点探测任务，使得需要探测的刺激随机出现在高、低价值项目所对应的位置。如果在注意刷新过程中，被试优先刷新高价值信息，则被试在高价值项目对应位置的点探测反应时将显著快于在低价值项目对应位置的点探测反应时。实验 3 将结合价值导向的记忆范式和空白屏范式，并利用眼动技术来进一步探究价值导向的注意刷新的机制。被试需要同时记忆 4 个图形，每个图形对应一个数字表示其价值的高低。随后

屏幕上会呈现一个空白屏。如果被试在记忆维持期间更频繁地刷新高价值信息，则被试在高价值项目对应位置的注视次数将显著多于低价值项目对应位置的注视次数；如果被试在记忆维持期间在高价值信息上停留了更多的时间，则被试在高价值项目对应位置的注视时间将显著多于低价值项目对应位置的注视时间。

2 实验 1：信息同时呈现条件下的价值导向的注意刷新

2.1 被试

参考前人的相关研究（Sandry & Ricker, 2020; Yin et al., 2019），将效应量设置为0.5~0.8，要观察到显著的点探测反应时差异（α 设置为 0.05 单尾，power = 0.95），需要 19~45 个样本。本实验共招募 25 名被试。其中 1 名被试因点探测正确率低于 80%而被剔除，因此有效被试为 24 名。其中，男性 7 名，年龄为 18.92 ± 1.14 岁。所有被试自愿参加实验，母语为汉语，视力或矫正视力正常，无生理或精神方面的疾病。实验结束后被试获得 20 元报酬。

2.2 实验材料、设计和程序

实验使用 E-prime 程序编写，背景默认为黑色，在笔记本电脑上运行。该电脑的屏幕大小为 13 寸，分辨率设置为 1600 * 900 像素。记忆材料使用 21 个大写辅音字母 B、C、D、F、G、H、J、K、L、M、N、P、Q、R、S、T、V、W、X、Y、Z 及配对数字 1、9（中间以“-”号连接），以白色、22 号、Times New Roman 字体呈现在屏幕中央的虚拟正六边形（中心距为 495 像素，视角为 7.55°）的六个顶点上。每一个试次被试需要记忆 6 个项目，其中 5 个项目的价值配对为“1”，1 个项目的价值配对为“9”。

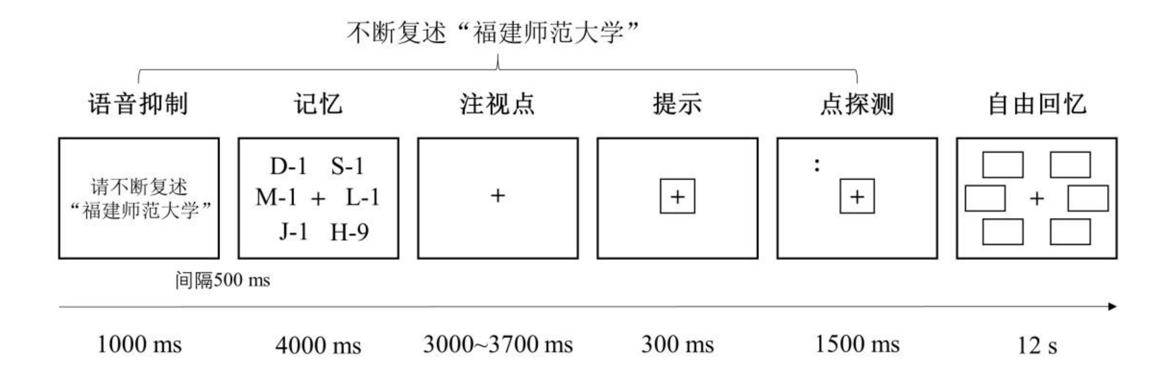


图 1 实验 1 流程图

实验 1 的流程图见图 1。被试在实验开始前被提醒需要在回忆阶段尽力取得最高的分数。实验开始后，屏幕中呈现一个 500 ms 的注视点，随后呈现语音抑制任务，要求被试不断复述“福建师范大学”直至点探测任务完成。间隔 500 ms 后呈现记忆材料，要求被试在 4000 ms 内尽可能地记住所有的字母。每个字母都有一个数字相联系表示其价值。随后屏幕上只呈现一个持续 3000 ~ 3700 ms 的注视点，紧接着在注视点周围呈现一个持续 300 ms 的方框，提醒被试即将进行一个点探测任务。在点探测任务中，被试需要在 1500 ms 内判断屏幕上呈现的两个小点是垂直的还是水平的。如果为垂直，则按“9”，水平则按“0”键。按键在被试间平衡，且两个小点是水平与垂直的概率都为 50%。小点随机呈现在之前字母呈现的其中一个位置。点探测的位置在价值之间平衡。点探测任务结束后进入回忆阶段，被试需要在 12 s 内在屏幕中呈现的 6 个方框中输入记忆阶段记忆的字母，无需输入数字。输入完成后被试会接收到点探测任务的正误反馈及当前试次的回忆得分。每个试次结束后，要求被试将右手食指和中指放在“9”键和“0”键上，按空格进入下一个试次。每个被试完成 3 组实验，每组 48 个试次，共 144 个试次。在正式实验开始前，被试需要完成 5 次相同程序的练习试次以确保熟悉实验流程。

本实验采用单因素被试内设计，自变量为信息价值（低 1，高 9），因变量为自由回忆的正确率和点探测任务的反应时。

2.3 实验结果

实验数据使用 JASP 0.16 进行分析。反应时的分析首先删除了点探测错误（占总试次 5.38%）以及点探测对应位置上回忆错误的试次，然后排除了反应时在三个标准差之外的极端值（占总试次 0.58%）。配对样本 t 检验发现：（1）被试对高价值（83.50% ± 7.47%）项目的记忆成绩显著高于低价值（54.35% ± 15.07%）项目的记忆成绩，$t(23) = 8.55$，$p < 0.001$，95% CI = [0.22, 0.36]，Cohen’s $d = 1.75$，表明工作记忆过程中存在价值导向的记忆；（2）被试在高价值（770 ms ± 102 ms）项目对应位置的点探测反应时显著快于低价值（789 ms ± 117 ms）项目对应位置的点探测反应时，$t(23) = –2.41$，$p = 0.012$，95% CI = [–34.50, –2.60]，Cohen’s $d = –0.49$，表明在信息同时呈现的条件下，工作记忆维持阶段的注意刷新受价值信息的引导。

3 实验 2：信息继时呈现条件下价值导向的注意刷新

在信息同时呈现的条件下，实验 1 证实了存在价值导向的注意刷新过程。然而由于实验

1 的记忆项目是同时呈现的，使得这一结果存在一些替代性的解释。首先，在编码阶段被试可能对高价值项目所在位置有更长时间的注视，这可能会使被试形成反应性的注意偏向。因此，在维持阶段的注意优势可能是由位置引起的，而不是价值。其次，由于记忆项目是同时呈现的，被试为了尽可能地取得高分，可能会在编码阶段采取以高价值项目为起始点、进而依次编码其他记忆项的策略。同样在自由回忆阶段，被试也会优先回忆高价值项目，从而导致高价值项目的记忆成绩优于低价值项目的记忆成绩。为了排除上述两种可能性，实验 2 将记忆项目的呈现方式改为每次呈现 1 个字母，每个字母的呈现时间相同且随机出现在六个位置中的一个。

3.1 被试

实验 2 共招募 25 名被试。其中 2 名被试因点探测正确率低于 80%而被剔除，因此有效被试为 23 名。其中，男性 7 名，年龄为 19.83 ± 1.80 岁。所有被试自愿参加实验，母语为汉语，视力或矫正视力正常，无生理或精神方面的疾病。实验结束后被试获得 20 元报酬。

3.2 实验材料、设计和程序

除了记忆项目是随机、继时呈现外，实验 2 的实验设备、实验材料和程序同实验 1。每个记忆项目呈现的时间为 1000 ms，项目与项目之间间隔 250 ms。此外，为了检测较小的价值是否仍然能够产生价值导向的注意刷新，实验 2 中的高、低价值对应的配对数字分别设置为“5”和“1”。本实验采用单因素被试内设计，自变量为信息价值（低 1，高 5），因变量为自由回忆的正确率和点探测任务的反应时。

3.3 实验结果

反应时的分析排除了点探测错误的试次（占总试次 2.29%）、点探测回忆错误的试次，以及反应时在三个标准差之外的极端值（占总试次 0.52%）。配对样本 t 检验发现：（1）被试对高价值（79.41% ± 13.91%）项目的记忆成绩显著高于低价值（48.71% ± 11.59%）项目的记忆成绩，$t(22) = 8.07$，$p < 0.001$，95% CI = [0.23, 0.39]，Cohen’s $d = 1.68$，表明工作记忆过程中存在价值导向的记忆；（2）被试在高价值（735 ms ± 110 ms）项目对应位置的点探测反应时显著快于低价值（751 ms ± 130 ms）项目对应位置的点探测反应时，$t(22) = -1.79$，$p = 0.044$，95% CI = [–34.96, –2.58]，Cohen’s $d = -0.37$，表明在信息继时呈现的条件下，工

作记忆维持阶段的注意刷新受价值信息的引导。

4 实验 3：价值导向的注意刷新的机制

实验 1 和实验 2 表明，不论信息是同时还是继时呈现的，均存在价值导向的注意刷新过程。并且，实验 2 证明了尽管在编码阶段，被试可用于编码高、低价值信息的时间是一样的，但在维持阶段高价值信息仍然优先得到了刷新。

这种高价值信息的注意刷新优势是如何获得的呢？根据有偏向的注意刷新程序（Atkinson et al., 2018, 2021; Hitch et al., 2018; Hu et al., 2016; Sandry et al., 2014），价值导向的注意刷新可能通过两种方式来实现：一是通过更频繁地注意高价值信息对应的位置进行注意刷新；二是通过对高价值信息对应的位置分配更多的时间来进行注意刷新。因此，实验 3 拟使用空白屏范式并结合眼动技术来探索这一机制。当记忆项目消失后，维持阶段的注意刷新会重新激活项目对应的位置标记，从而引发眼球在空白屏幕中向对应的空间位置移动。因此，在维持期间的空白屏上，个体对不同价值信息对应的兴趣区内的注视次数可以衡量注意刷新的频率，每个注视点的注视时间可以衡量注意刷新的时间。

4.1 被试

实验 3 共招募 25 名被试。其中 1 名被试因眼动数据缺失而被剔除，因此有效被试为 24 名。其中，男性 10 名，年龄为 21.00 ± 2.38 岁。所有被试自愿参加实验，母语为汉语，视力或矫正视力正常，无生理或精神方面的疾病。实验结束后被试获得 20 元报酬。

4.2 实验材料、设计和程序

实验使用 Matlab 中的 Psychtoolbox 插件进行编写，背景默认为白色。实验的被试机为 14 寸的笔记本电脑，屏幕分辨率为 1600 * 900 像素。采用 EyeLink Portable DUO 便携式眼动仪记录眼动数据，该眼动仪的采样频率为 500 Hz。眼动数据使用 Data Viewer 4.1.1 软件分析。实验中，被试眼睛与屏幕之间的距离约为 70 cm。

考虑到眼动设备的操作要求及回忆难度，实验 3 使用图形作为记忆材料、数字作为价值配对材料。其中，数字材料使用黑色、字号为 80、字体为 Times New Roman 的“1”与“6”，每次以 3 个“1”和 1 个“6”随机出现在屏幕中央的虚拟正四边形的四个顶点上。图形材料使用灰色（R118，G113，B113）、大小为 122 * 122 像素（视角为 1.96°）的实心规则图形

（正三角形，等腰梯形，平行四边形，正方形，正五边形），每次随机抽取 4 个随机呈现在屏幕中央的虚拟正四边形（中心距为 311 像素，视角为 4.98°）的四个顶点上。回忆提示材料为空心圆形。回忆测试呈现的图形与记忆图形一致，5 个图形以 30 像素（视角为 0.48°）间隔呈现在白色屏幕的中心水平轴线上。

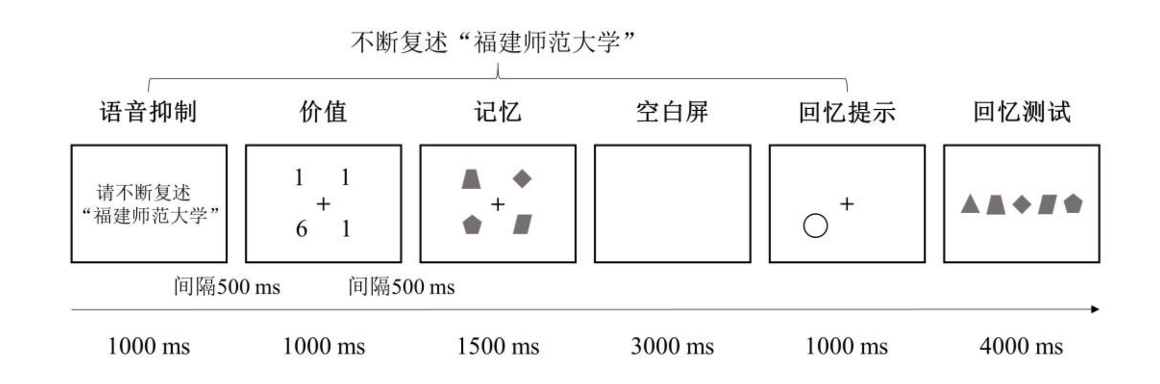


图 2 实验 3 流程图

实验 3 的流程图见图 2。被试在实验开始前被提醒需要在回忆阶段尽力取得最高的分数。实验开始后屏幕中呈现一个 500 ms 的注视点，随后要求被试复述“福建师范大学”直至进行回忆测试。然后屏幕上会呈现 4 个数字，分别对应该位置上图形的价值分数，持续 1000 ms。数字消失 500 ms 后呈现一个包含 4 个图形的界面。被试需要在 1500 ms 内记住这些图形。随后呈现一个持续 3000 ms 的空白屏，接着屏幕中出现提示材料 1000 ms，指示被试需要回忆该位置上的图形。最后屏幕上呈现 5 个图形材料。被试需要在 4000 ms 内从 5 个图形中选择一个图形匹配该位置对应的图形。每个被试完成 2 组实验，每组 30 个试次，共 60 个试次。在正式实验开始前，被试需要完成 5 次练习试次以确保熟悉实验流程。

本实验采用单因素被试内设计，自变量为信息价值（低 1，高 6），因变量为记忆测试的正确率、兴趣区内的注视次数和单次注视时间（注视时间/注视次数）。

4.3 实验结果

实验数据使用 JASP 0.16 进行分析。每个图形的兴趣区大小为 170 * 170 像素，视角为 2.73°。实验剔除了回忆错误的试次以及注视时间在 100 ms 以下的注视点（占总试次 5.17%）。配对样本 t 检验发现：（1）被试的记忆成绩在高价值（85.34% ± 12.52%）项目上显著高于低价值（73.33% ± 17.23%）项目，$t(23) = 3.82$，$p < 0.001$，95% CI = [0.06, 0.19]，Cohen’s $d = 0.78$，表明工作记忆过程中存在价值导向的记忆；（2）高价值（0.32 ± 0.10 次/试次）项目对应位置在空白屏期间的注视次数显著高于低价值（0.27 ± 0.08 次/试次）项目对应位置的注视次

数，$t(23) = 2.63$，$p = 0.007$，95% CI = [0.01, 0.08]，Cohen’s $d = 0.54$；（2）高（313 ms ± 102 ms）、低价值（332 ms ± 125 ms）项目对应位置在空白屏期间的单次注视时间无显著差异，$t(23) = –1.55$，$p = 0.135$，95% CI = [–44.04, 6.33]，Cohen’s $d = –0.32$。由于零假设统计检验的 $p > 0.05$ 并不能支持零假设。因此，这里对单次注视时间进行了贝叶斯检验考察其是否支持零假设，结果显示 $BF_{10} = 0.61$，并不支持零假设。上述结果表明，价值导向的注意刷新可能是通过提高高价值信息的刷新频率来实现的。

5 讨论与结论

本文通过价值导向的记忆范式操纵信息的价值，使用点探测任务和空白屏范式直接验证了价值导向的注意刷新并探究了其机制。实验 1 和实验 2 发现，不论信息是同时还是继时呈现，被试在高价值项目对应位置的点探测反应时显著快于低价值项目对应位置的点探测反应时，表明高价值信息在工作记忆维持阶段得到了优先刷新。实验 3 在空白屏范式下使用眼动技术记录了被试在记忆维持阶段的眼动数据，发现相比低价值项目对应的位置，被试对高价值项目对应位置的刷新频率更高，表明价值导向的注意刷新主要是通过提高高价值信息的刷新频率来实现的。

5.1 价值导向的注意刷新

以往研究表明，人们能够在工作记忆中优先处理更有价值的信息（e.g., Allen et al., 2020; Atkinson et al., 2019; Hitch et al., 2018; Hu et al., 2016）。Atkinson 等（2022）在最新的一项研究中首次证明，注意刷新部分地解释了上述工作记忆的价值效应。他们的实验发现，线索效应能够提升低价值或同等价值信息的回忆正确率，但不能提升高价值信息的回忆准确率。这可能是因为，在非线索条件下，即便没有线索引导被试刷新，他们仍然会去优先刷新高价值信息。这一结果间接地证明了高价值信息在注意刷新中具有优势。

本文通过三个实验，结合反应时和眼动指标，更加直接地证实了这种价值导向的注意刷新。本文的结果显示，相比点探测任务出现在低价值信息对应的位置，当点探测任务出现在高价值信息对应的位置时，被试的反应时更快；被试在高价值信息对应位置的注视频率显著高于在低价值信息对应位置的注视频率。在 Atkinson 等（2022）的研究中，被试优先刷新高价值项目仅仅是根据在非线索条件下，高价值项目拥有较高的回忆正确率而做出的推测。而高价值项目拥有较高的回忆正确率部分也可能是因为被试在编码过程中分配给高价值项

目更多的注意资源。因而他们也承认，注意刷新能够部分地解释他们的实验结果。但是，本文的实验明确地探测了高、低价值项目所在的位置，结果发现了高价值项目相比低价值项目所对应的位置具有反应速度和刷新次数的优势，因而为价值导向的注意刷新提供了直接的证据。

以往注意刷新的研究主要聚焦于两个方面：一是注意刷新的一般模式，即在信息无差异的情况下，个体优先刷新弱激活的信息（Jafarpour et al., 2017; Lemair et al., 2018; van Moorselaar et al., 2015）；二是注意刷新的经验优先模式，即经验（奖赏或自我）相关的信息在注意刷新中的优势（Thomas et al., 2016; Yin et al., 2019）。优先刷新弱激活项与优先刷新高价值项并不冲突，它们都是高效的记忆维持策略，在不同的情况下各自发挥着作用。在记忆项目之间几乎不存在价值区别的情况下，人们取得最高分数的策略就是尽可能地记住最多的项目。由于项目的激活程度越低会导致遗忘，因此优先刷新弱激活项无疑是在提高记忆数量方面最优的方法。而当记忆项目之间存在明显价值区别的情况下，人们取得最高分数的策略就是尽量保证记住高价值的项目。因此，优先刷新弱激活项与优先刷新高价值项相辅相成，保证人们的记忆系统能够最大化地储存信息。

同时，优先刷新高价值项与优先刷新经验相关刺激具有本质区别。优先刷新高价值项是一种目标导向的注意刷新策略，通常是自发和可控的，而优先刷新经验相关刺激是一种经验相关的注意刷新策略，是强制和不可控的（Addleman & Jiang, 2019; Theeuwes, 2019）。这两者联合对记忆的影响可能取决于注意刷新的对象是否一致。一方面，价值导向和经验驱动可能在注意刷新过程中同时起作用，从而增强记忆效果。比如，个人相关的信息通常情况下也会被个体赋予更高的价值，从而具有刷新优势。另一方面，两者可能在注意刷新过程中相互竞争，从而减弱记忆效果。比如，当人们在努力地控制注意指向高价值刺激时，经验相关的刺激也通过强制的方式争夺注意资源，而那些低价值且不包含经验信息的刺激最终沦为了牺牲品。

5.2 价值导向的注意刷新的机制

尽管 Atkinson 等（2022）首次间接地证实了价值导向的注意刷新，但他们的研究仍然无法解释价值导向的注意刷新是如何实现的，即是更频繁地刷新更有价值的项目，还是更长时间地“思考”更有价值的项目（Atkinson et al., 2018, 2021; Hitch et al., 2018; Hu et al., 2016; Sandry et al., 2014）。

本文的结果显示，相比低价值记忆项对应的位置，被试在记忆维持期间的空白屏上更频繁地注视高价值记忆项对应的位置，而不是在每次注视该位置时分配更多的时间。这表明价值导向的注意刷新是通过更频繁地注意高价值信息对应的位置来实现的。这种价值导向的注意刷新机制符合针对 TBRS 开发的计算模型所预测的关于信息的激活程度与时间的关系。众所周知，记忆的提取依赖于项目的激活程度。激活程度越低，项目越容易被遗忘；激活程度越高，项目越有可能被优先选择并回忆出来。Oberauer 和 Lewandowsky（2011）的计算模型发现，信息的激活程度随着时间呈 log 型变化，即信息的激活程度越高，其激活衰退的速度也越快。因此，为了维持高价值项目较高的激活程度，个体必须频繁地刷新高价值项目以保证其回忆优势。

此外，本文的结果显示，高、低价值项目对应的位置在单次注视时间上并没有显著差别，可能表明价值导向的注意刷新并不是通过在高价值信息上分配更多的时间来实现的。我们需要对此结果持谨慎态度。以往研究认为，注意刷新存在两种形式（Camos et al., 2018）。一种是将注意焦点置于某一需要刷新的项目上，随后将注意力“快速”转移到其他项目。另一种是将注意焦点置于某一需要刷新的项目上并短暂停留。然而现有的研究和实验范式并不能有效分离这两种刷新形式。如果被试更多地采取第一种方式，则刷新频率可能是反映注意刷新的一个良好指标；而如果被试更多地采用第二种方式，则注视时间可能是更好的指标。由于在实验 3 中，被试被要求尽可能地获得最高的价值，他们可能会采取频繁转移注意焦点的注意刷新方式，并在高价值项目上进行了更多的刷新。

5.3 贡献、不足和展望

本文的研究进一步丰富和拓展了注意刷新的研究，并为人们在日常生活中如何优先处理信息提供了新的证据。作为一种内部心理过程，优先刷新弱激活项、优先刷新经验相关信息和优先刷新高价值信息均是个体维持工作记忆的有效方式，并不存在绝对的优劣之分。此外，本文揭示了价值导向的注意刷新的机制，在一定程度上发展了 TBRS 模型，能够帮助人们更深入地理解在工作记忆过程中，处理时间和注意资源是如何共享从而维持记忆表征的。对于这一机制的了解也有助于研究者开发新的计算模型来模拟人们的注意刷新过程。

本文还存在以下不足。首先，本文虽然支持了价值导向的注意刷新可能是通过提高高价值信息的刷新频率来实现的，但仍不能完全否定被试在高价值信息上分配更多时间的实现机制。其原因可能是本文的实验更倾向于让被试采用不停切换注意焦点的刷新方式，或被试用

于注意刷新的时间太短而未能探测到此机制。因此，未来的研究或许可以通过操纵实验的要求（如，尽可能获得最高的价值 vs. 尽可能多地记住高价值项）来改变被试注意刷新的策略，或延长可用于注意刷新的时间，来进一步探究价值导向的注意刷新是否可以同时通过增加刷新频率和延长停留时间来实现。

其次，高、低价值的刷新频率需要在不同实验情境下得到重复验证。虽然本文发现高价值信息相对低价值信息有更高的刷新频率，但实验 3 中，不论是高价值信息还是低价值信息，其刷新频率均相对较低。主要原因是在该实验中，记忆项目有 4 个，但兴趣区的大小相对较小（视角为 2.73°），且空白屏持续时间较短。由于在空白屏中，图形并没有呈现在屏幕上，被试在 3 s 内不仅需要刷新 4 个项目，其注视点也并不能精确地落在项目所在的区域，再加上在项目之间的扫视也会耗费一定的时间，从而导致落在兴趣区的注视点偏少。还有一种可能是，被试可能在没有进行眼动的情况下，内隐地对价值信息所在的位置进行了刷新（Scholz et al., 2018）。未来的研究可以使用更复杂的图形、扩大图形的兴趣区、增大刺激与刺激之间的视角，并延长空白屏的时间，使被试的注视点可以相对轻松地落在图片所在的兴趣区内，来进一步探究注意刷新的频率。

5.4 结论

本文得到以下结论：（1）不论信息是同时还是继时呈现，高价值项目对应位置的点探测反应时均快于低价值项目对应位置的点探测反应时，表明价值信息能够引导注意刷新；（2）相比低价值项目对应的位置，被试对高价值项目对应位置的刷新频率更高，表明价值导向的注意刷新主要是通过提高高价值信息的刷新频率来实现的。

参考文献

Addleman, D. A., & Jiang, Y. V. (2019). Experience-driven auditory attention. *Trends in Cognitive Sciences, 23*(11), 927–937. https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.08.002

Allen, R. J., & Ueno, T. (2018). Multiple high-reward items can be prioritized in working memory but with greater vulnerability to interference. *Attention, Perception & Psychophysics*, *80*(7), 1731–1743. https://doi.org/10.3758/s13414-018-1543-6

Atkinson, A. L., Allen, R. J., Baddeley, A. D., Hitch, G. J., & Waterman, A. H. (2021). Can valuable information be prioritized in verbal working memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *47*(5), 747–764. https://doi.org/10.1037/xlm0000979

Atkinson, A. L., Berry, E. D. J., Waterman, A. H., Baddeley, A. D., Hitch, G. J., & Allen, R. J. (2018). Are there multiple ways to direct attention in working memory? *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1424*(1), 115–126. https://doi.org/10.1111/nyas.13634

Atkinson, A. L., Oberauer, K., Allen, R. J., & Souza, A. S. (2022). Why does the probe value effect emerge in working memory? Examining the biased attentional refreshing account. *Psychonomic Bulletin & Review*, *29*(3), 891–900. https://doi.org/10.3758/s13423-022-02056-6

Atkinson, A. L., Waterman, A. H., & Allen, R. J. (2019). Can children prioritize more valuable information in working memory? An exploration into the effects of motivation and memory load. *Developmental Psychology*, *55*(5), 967–980. https://doi.org/10.1037/dev0000692

Awh, E., Jonides, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*(3), 780–790. https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.3.780

Barrouillet, P., & Camos, V. (2007). The time-based resource-sharing model of working memory. In N. Osaka, R. H. Logie, & M. D' Esposito (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Working Memory*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198570394.003.0004

Barrouillet, P., & Camos, V. (2012). As time goes by: Temporal constraints in working memory. *Current Directions in Psychological Science*, *21*(6), 413–419. https://doi.org/10.1177/0963721412459513

Camos, V., Johnson, M., Loaiza, V., Portrat, S., Souza, A., & Vergauwe, E. (2018). What is attentional refreshing in working memory? *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1424*(1), 19–32. https://doi.org/10.1111/nyas.13616

Castel, A. D., Benjamin, A. S., Craik, F. I., & Watkins, M. J. (2002). The effects of aging on selectivity and control in short-term recall. *Memory & Cognition*, *30*(7), 1078–1085. https://doi.org/10.3758/bf03194325

Cohen, M. S., Rissman, J., Hovhannisyan, M., Castel, A. D., & Knowlton, B. J. (2017). Free recall test experience potentiates strategy-driven effects of value on memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *43*(10), 1581–1601. https://doi.org/10.1037/xlm0000395

Hennessee, J. P., Patterson, T. K., Castel, A. D., & Knowlton, B. J. (2019). Forget me not: Encoding processes in value-directed remembering. *Journal of Memory and Language*, *106*, 29–39.

https://doi.org/10.1016/j.jml.2019.02.001

Hitch, G. J., Hu, Y., Allen, R. J., & Baddeley, A. D. (2018). Competition for the focus of attention in visual working memory: Perceptual recency versus executive control. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1424*(1), 64–75. https://doi.org/10.1111/nyas.13631

Hoover, M. A., & Richardson, D. C. (2008). When facts go down the rabbit hole: Contrasting features and objecthood as indexes to memory. *Cognition*, *108*(2), 533–542. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.02.011.

Hu, Y., Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2016). Executive control of stimulus-driven and goal-directed attention in visual working memory. *Attention, Perception & Psychophysics*, *78*(7), 2164–2175. https://doi.org/10.3758/s13414-016-1106-7

Jafarpour, A., Penny, W., Barnes, G., Knight, R. T., & Duzel, E. (2017). Working memory replay prioritizes weakly attended events. *eNeuro*, *4*(4), ENEURO.0171-17.2017. https://doi.org/10.1523/ENEURO.0171-17.2017

Kaur, S., Norris, D. G., & Gathercole, S. E. (2020). The time course of updating in running span. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *46*(12), 2397–2409. https://doi.org/10.1037/xlm0000800

Káldi, T., & Babarczy, A., (2021). Linguistic focus guides attention during the encoding and refreshing of working memory content. *Journal of Memory and Language*, *116*, 104187. https://doi.org/10.1016/j.jml.2020.104187

Kuo, B. C., Stokes, M. G., & Nobre, A. C. (2012). Attention modulates maintenance of representations in visual short-term memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *24*(1), 51–60. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00087.

Lemaire, B., Pageot, A., Plancher, G., & Portrat, S. (2018). What is the time course of working memory attentional refreshing? *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(1), 370–385. https://doi.org/10.3758/s13423-017-1282-z

Martarelli, C. S., Chiquet, S., Laeng, B., & Mast, F. W. (2017). Using space to represent categories: Insights from gaze position. *Psychological Research*, *81*(4), 721–729. https://doi.org/10.1007/s00426-016-0781-2.

Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2011). Modeling working memory: A computational implementation of the time-based resource-sharing theory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*(1), 10–45. https://doi.org/10.3758/s13423-010-0020-6

Ricker, T. J., Sandry, J., Vergauwe, E., & Cowan, N. (2020). Do familiar memory items decay? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *46*(1), 60–76. https://doi.org/10.1037/xlm0000719

Sandry, J., & Ricker, T. J. (2020). Prioritization within visual working memory reflects a flexible focus of attention. *Attention, Perception & Psychophysics*, *82*(6), 2985–3004. https://doi.org/10.3758/s13414-020-02049-4

Sandry, J., Schwark, J. D., & MacDonald, J. (2014). Flexibility within working memory and the focus of attention for sequential verbal information does not depend on active maintenance. *Memory & Cognition*, *42*(7), 1130–1142. https://doi.org/10.3758/s13421-014-0422-1

Scholz, A., Klichowicz, A., & Krems, J. F. (2018). Covert shifts of attention can account for the functional role of "eye movements to nothing". *Memory & Cognition*, *46*(2), 230–243. https://doi.org/10.3758/s13421-017-0760-x

Scholz, A., Mehlhorn, K., & Krems, J. F. (2016). Listen up, eye movements play a role in verbal memory retrieval. *Psychological Research*, *80*(1), 149–158. https://doi.org/10.1007/s00426-014-0639-4.

Spivey, M. J., & Geng, J. J. (2001). Oculomotor mechanisms activated by imagery and memory: Eye movements to absent objects. *Psychological Research*, *65*(4), 235–241. https://doi.org/10.1007/s004260100059.

Theeuwes, J. (2019). Goal-driven, stimulus-driven, and history-driven selection. *Current Opinion in Psychology*, *29*, 97–101. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.12.024

Theeuwes, J., Belopolsky, A., & Olivers, C. N. L. (2009). Interactions between working memory, attention and eye movements. *Acta Psychologica*, *132*(2), 106–114. https:// doi.org/10.1016/j.actpsy.2009.01.005.

Thomas, P. M. J., Fitz Gibbon, L., & Raymond, J. E. (2016). Value conditioning modulates visual working memory processes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *42*(1), 6–10. https://doi.org/10.1037/xhp0000144

Vankov, I. (2009). Mind the gap: The cost of looking at nothing, or the performance implications of memory-induced attention shifts. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, *31*, 1318–1323. https://escholarship.org/uc/item/7gm932vb

van Moorselaar, D., Battistoni, E., Theeuwes, J., & Olivers, C. N. (2015). Rapid influences of cued visual memories on attentional guidance. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1339*, 1–10. https://doi.org/10.1111/nyas.12574

Vergauwe, E., Camos, V., & Barrouillet, P. (2014). The impact of storage on processing: How is information maintained in working memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *40*(4), 1072–1095. https://doi.org/10.1037/a0035779

Yin, S., Sui, J., Chiu, Y. C., Chen, A., & Egner, T. (2019). Automatic prioritization of self-referential stimuli in working memory. *Psychological Science*, *30*(3), 415–423. https://doi.org/10.1177/0956797618818483

Value-directed Attentional Refreshing and Its Mechanism

LI Haifeng, LIN Shiqing, WAN Bowen

School of Psychology, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China

Abstract

Attentional refreshing is the process of promoting and prolonging the activation of information in working memory (WM) by returning it the focus of attention. This process can prevent the information in WM from fading over time or being disrupted by distractors. Previous studies have demonstrated that attentional refreshing can be guided by retro-cues or influenced by various experiences, such as reward-related or self-related stimuli. Recent studies have also explored the value effect in WM and found that people tend to prioritize more valuable information in WM, indicating that value may play a role in guiding attentional refreshing during retention. In a groundbreaking study by Atkinson et al. (2022), attentional refreshing was shown to partially explain the value effect in WM. However, the study was unable to determine why high-value information was prioritized for refreshing. It has been suggested that the value effect in WM may be due to a biased attentional refreshing procedure where individuals tend to focus more frequently or for longer periods on the more valuable item during retention, as compared to the other items.

To investigate the value-directed attentional refreshing and its underlying mechanism, this study conducted three experiments. The sample size for each experiment was determined using G*power based on prior research, with 24, 23, and 24 participants in Experiments 1, 2, and 3, respectively. All experiments were designed with a within-subject design, with the independent variable being the value of the item (high or low). In Experiments 1 and 2, a value-directed memory paradigm and a dot probe task were used to examine whether high-value information was refreshed with higher priority than low-value information. Participants were asked to memorize 6 consonants simultaneously (Experiment 1) or sequentially (Experiment 2) that were each assigned a value (e.g., 1 or 9) and perform a dot probe task during the memory retention stage. The probe stimuli appeared in either high- or low-value positions, and participants had to identify whether the two dots were arranged vertically or horizontally. They were then asked to recall the consonants they remembered. Experiment 3 combined a value-directed memory paradigm and a

blank screen paradigm and used Eeylink to further explore the mechanism of value-directed attentional refreshing. Participants were asked to memorize 4 regular grey graphs simultaneously, each with a corresponding value, and then a blank screen was presented to record their eye movements. Finally, one of the graphs was probed to test their memory.

The results of Experiment 1 and Experiment 2 indicated that participants exhibited better recall performance for high-value items compared to low-value items, regardless of whether they were presented simultaneously or sequentially. Furthermore, participants had faster reaction times when responding to the dot probe task at the location of high-value items as opposed to low-value items. Experiment 3 also supported the finding that recall performance was better for high-value items than low-value items. Additionally, the study found that participants tended to have more fixations at the location of high-value items than low-value items during the blank screen period. However, there was no significant difference in fixation duration between high-value and low-value items.

The above experiments directly confirmed the value-directed attentional refreshing that high-value information received priority for attentional refreshing in WM retention when compared to low-value information. More importantly, the results indicated that value-directed attentional refreshing might be achieved by increasing the refresh rate of high-value information rather than deploying more time on it. This study contributes to the research on attentional refreshing and provides new insights into how people prioritize information in their daily lives. Moreover, it sheds light on the mechanism of value-directed attentional refreshing and helps develop the time-based resource-sharing model to a certain extent. These findings can aid researchers in developing computational models that simulate people's attentional refreshing process.

Keywords attentional refreshing, value-directed, working memory, refresh rate, fixation duration